Revue Ecosystèmes et Paysages, 2023, 03(1): 130 –148pp
https://lbev-univlome.com/revue-ecosysteme-et-paysage/
ISSN Online: 2790-3230

Évaluation des domaines vitaux de Gazelle dorcas (*Gazella dorcas*) et Mouflon à manchettes (*Ammotragus lervia sahariensis*) dans le massif de l'Ennedi (Tchad)

Home range assessment of Dorcas gazelle (*Gazella dorcas*) and Barbary sheep (*Ammotragus lervia sahariensis*) in the Ennedi massif (Chad)

Christophe Reitz[1*], Nanta Benellem[1]

[1] Réserve naturelle et culturelle de l'Ennedi, département Monitoring and Research, African Parks Network, N'Djamena, Tchad
[*]Auteur correspondant : reitz.christophe@yahoo.fr

Comment citer l'article : Reitz Christophe, Benellem Nanta (2023). Évaluation des domaines vitaux de Gazelle dorcas (Gazella dorcas) et Mouflon à manchettes (Ammotragus lervia sahariensis) dans le massif de l'Ennedi (Tchad). Rev Écosystèmes et Paysages (Togo), 03(1): 130 –148, e-ISSN (Online): 2790-3230

doi: https://doi.org/10.59384/recopays2023-3-1

Reçu : 31 mars 2023
Accepté : 15 juin 2023
Publié : 30 juin 2023



Résumé

Afin de mieux comprendre les adaptations locales des comportements spatiaux de Gazelle dorcas (*Gazella dorcas*) et Mouflon à manchettes (*Ammotragus lervia sahariensis*) au sein du Massif de l'Ennedi, 5 individus de chaque espèce ont été équipés de balises GPS courant février 2020 au sein de la Réserve Naturelle et Culturelle de l'Ennedi, gérée par African Parks Network. Les colliers ont été fabriqués et programmés pour relever diverses données toutes les 4 heures : position GPS, précision, accéléromètre, date, heure. L'enregistrement des données mouflon a pu s'étendre sur 10 mois au moins, tandis que les colliers de dorcas se sont révélés moins efficaces et n'ont enregistré que 5 mois dans le meilleur des cas. Finalement l'occupation de l'espace n'a été étudiée que pour 8 individus via la production de domaines vitaux (DV) selon 2 méthodes : minimum poylgon convex 95% (MCP), et kernel density estimation 95% (KDE).
Après estimation des surfaces et observations des tracés de DV, la méthode KDE est apparue mieux ajustée que la méthode MCP. Cette dernière semble surévaluer les DV en incluant des zones totalement inexplorées, contrairement à la méthode KDE qui semble par contre omettre les corridors de déplacement.
Qu'il s'agisse de Gazelle dorcas ou de Mouflon à manchettes, les surfaces de DV, via MCP comme via KDE, se sont révélées plus importantes qu'en d'autres régions. La disponibilité en fourrage liée aux conditions climatiques ou à la compétition avec le bétail pourrait expliquer cela.

Mots clés

Domaine vital, Ennedi, Mouflon à manchettes, Gazelle dorcas, Kernel

Abstract

To better understand the local adaptations of spatial behaviour of Dorcas Gazelle (*Gazella dorcas*) and Barbary sheep (*Ammotraguslervia sahariensis*) in the Ennedi Massif, 5 individuals of each specie were fitted with GPS collars in February 2020 in the Ennedi Natural and Cultural Reserve, managed by African Parks Network. The collars were manufactured and programmed to record various data every 4 hours: GPS position, accuracy, accelerometer, date, time, etc. The recording of Barbary sheep was performed over at least 10 months, whereas Dorcas gazelle collars were less effective and recorded 5 months at best. Finally, space occupation was studied for only 8 individuals via the production of home range (HR) according 2 methods: minimum polygon convex 95% (MCP), and kernel density estimation 95% (KDE).
After estimating the areas and observing the HR, the KDE method appeared better fitted than the MCP method. The latter seems to overestimate the HR by including areas completely unexplored, while the KDE method seems to omit the corridors.
For both Dorcas gazelle and Barbary sheep, the areas of HR, both via MCP and KDE, were found to be larger than in other regions. This could be explained by the availability of forage due to climatic conditions or competition with livestock.

Keywords

Home range, Ennedi, Barbary sheep, Dorcas gazelle, Kernel

1. Introduction

Le massif de L'Ennedi, inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco, et situé au nord-est du Tchad à l'interface sahélo-saharien, présente un environnement particulièrement exigeant pour la faune sauvage, aussi bien en raison de son aridité qu'en raison de pressions anthropiques qui pèsent ou ont pesé sur la biodiversité locale. C'est ainsi qu'ont disparu plusieurs espèces emblématiques de la région lors des 5 dernières décennies (*Oryx dammah*, *Addax nasomaculatus* et *Nanger dama*), notamment en raison des conflits armés qui troublèrent le pays et accentuèrent le braconnage. Néanmoins persiste encore une faune remarquable dont 2 herbivores emblématiques des zones arides et montagneuses, la Gazelle dorcas (*Gazella dorcas*) et le Mouflon à manchettes du Sahara (*Ammotragus lervia sahriensis*). Tous deux sont classés « vulnérables » sur la liste rouge mondiale de l'IUCN. Le Mouflon à manchettes est d'ailleurs strictement protégé au Tchad, tandis que la Gazelle dorcas ne l'est que partiellement (décret N°380PR/PM/MAE/2014 fixant les modalités d'application du régime de la faune). C'est dans ce contexte qu'African Parks Network (APN), gestionnaire de la réserve naturelle et culturelle de l'Ennedi, a souhaité étudier plus en détails ces 2 espèces au travers de moyens télémétriques (balise GPS) afin de mieux comprendre leur écologie spatiale et ainsi réguler les méthodes de conservation à adopter localement. En effet, identifier et comprendre les facteurs influant les variations spatio-temporelles est essentiel pour comprendre les patterns comportementaux d'une population et améliorer conséquemment les modalités de gestion (Pellerin 2005). Ceci aiderait par ailleurs à prédire comment les populations sauvages pourraient être affectées par les changements environnementaux (Stillman et al. 2000, in Pellerin 2005). Et pour cela, il est nécessaire de comprendre comment les populations exploitent leur milieu.

Correspondant à l'aire utilisée par un individu ou un groupe afin de pourvoir à ses besoins (accès aux partenaires, nourriture, refuge, etc.) (Bodin 2005), le domaine vital (DV) et l'étude de ses caractéristiques (taille, composition,

etc.) nous informent sur l'exploitation de l'espace par l'espèce considérée, et permet alors d'étudier ses réponses aux perturbations touchant son milieu de vie. En effet, face à une diminution de la qualité de l'habitat, pouvant aussi bien résulter d'une diminution des ressources, d'une perte de surface disponible, d'une fragmentation du paysage, ou encore d'une compétition intra et interspécifique accrue (Janin 2011), plusieurs réponses comportementales peuvent alors être observées quant au mode d'utilisation de l'espace : la fusion (diminution des domaines vitaux accompagnée d'une augmentation du chevauchement des DV d'individus différents) ; la fission (diminution de la surface des DV accompagnée d'un faible recouvrement des DV à condition que la surface des habitats approche le minimum requis pour la satisfaction des besoins) ; ou l'expansion des DV par supplémentation (augmentation du DV en utilisant davantage d'éléments paysagers de même nature quand il n'y a pas assez de ressources dans un seul) (Dunning et al. 1992, in Pereboom 2006). Une autre possibilité est la complémentation (Dunning et al. 1992, in Pereboom 2006). Cela consiste à exploiter des taches d'habitat moins favorables sans que la surface du DV ne varie forcément. Bien entendu la réponse est fonction de la plasticité comportementale de l'espèce.

Bien que Mouflon à manchettes et Gazelle dorcas aient déjà été étudiés en d'autres endroits, il reste important de documenter les adaptations comportementales locales de ces 2 espèces, surtout dans un contexte aussi unique que le massif de l'Ennedi notamment parce que celui-ci abrite plus de 40 00 habitants et plus de 140 000 têtes de bétail (Wacher 2019), ceci traduisant fatalement une compétition forte entre faune sauvage et activité pastorale. Et c'est dans cette optique que les objectifs plus spécifiques de cette opération de « collaring » se veulent multiples, à savoir étudier l'occupation de l'espace (analyse surfacique de domaine vital, étude de la sélectivité des habitats), et étudier les rythmes d'activités. Notons que seul le premier axe d'étude est ici concerné. L'étude des rythmes d'activité ne sera pas présentée ici.

2. Matériel et Méthode

2.1 Présentation de la zone d'étude

Situé au Nord-est du Tchad (Figure 1), à l'interface entre la zone saharienne et la zone sahélienne, la Réserve Naturelle et Culturelle de l'Ennedi (RNCE) occupe une superficie d'environ 50 000Km², perchée entre 400 et 1200 mètres d'altitude. Façonné dans le temps par les écoulements d'eau et le vent, ce massif gréseux offre un paysage composé de canyons, vallées, grottes, arches et pitons rocheux entrecoupés de divers types de steppes (herbacées, buissonnantes, arbustives ou arborées), de dunes de sables mais également de zones humides, temporaires comme permanentes, situées principalement au cœur des canyons.

D'un point de vue hydroclimatique, le massif présente une pluviométrie annuelle moyenne de 74.48mm/an sur ces 20 dernières années (2001 à 2020) (Mbayngone 2023). Les pluies s'étendent de Juillet à Septembre, tandis que la saison sèche dure globalement 9 mois avec une période froide de Novembre à Mars, et une période chaude de Mars à Juillet, ceci pouvant changer quelque peu selon l'axe Nord-sud.

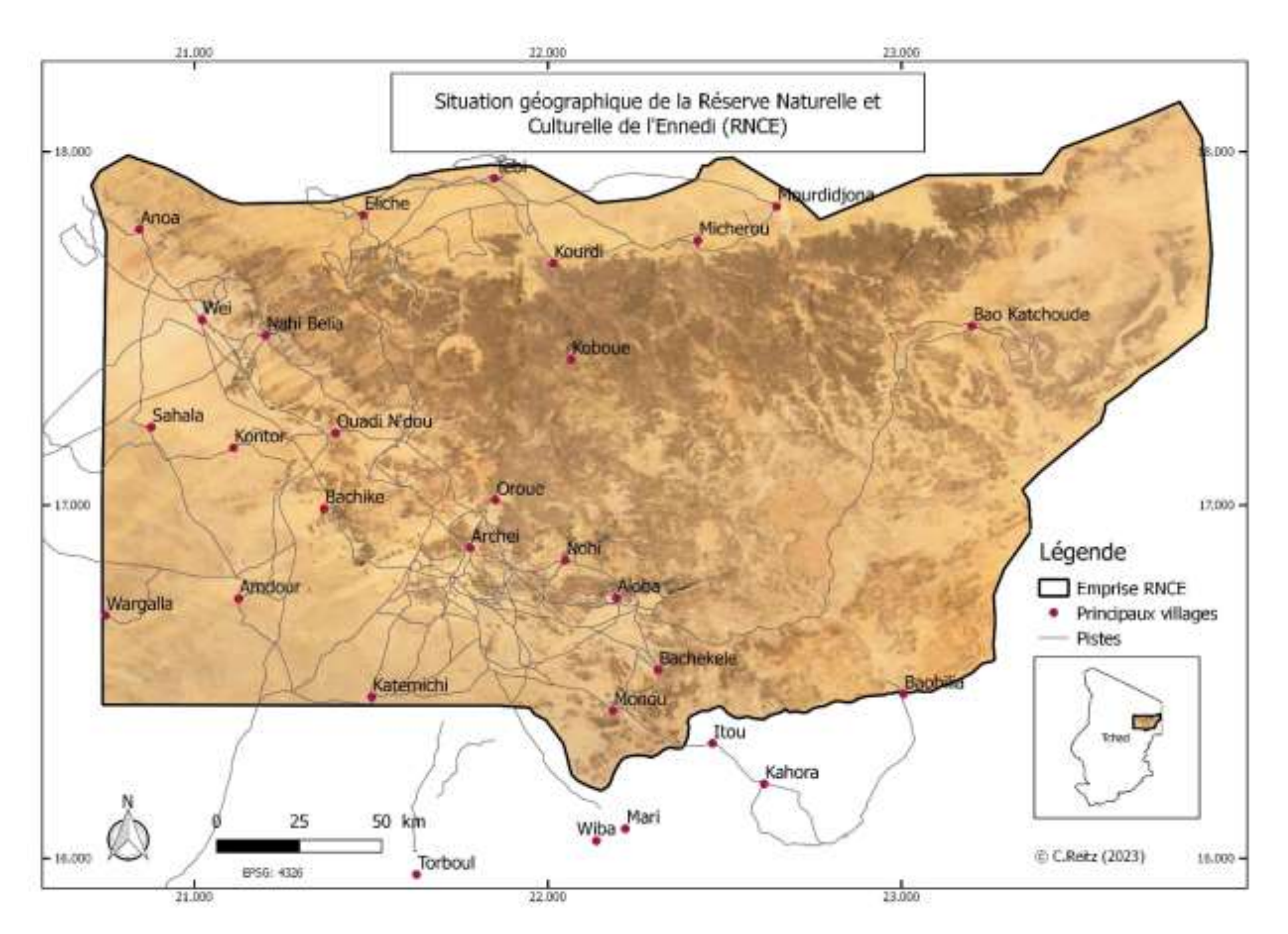


Figure 1. Situation géographique de la RNCE au Tchad
Source : ESRI Satellite (2023) ; RNCE (2020) ; GADM data v4.1

2.2. Capture et monitoring des individus

Plusieurs secteurs de présence connue de Mouflon à manchettes et de Gazelle dorcas ont été sillonnés en avion dès 6:30 am avec 2 observateurs à bord. Lorsqu'un groupe est détecté, l'information est transmise par radio à l'équipe de capture restée en attente à bord d'un hélicoptère. Selon la position transmise, la taille/composition du groupe, et selon le faciès géologique en lien avec la sécurité de l'opération, l'équipe de capture prend ou non la décision d'engager la mission.

Une fois localisé par l'équipe de capture, un individu du groupe est fléché à distance depuis l'hélicoptère par Charlotte Moueix, vétérinaire de la faune sauvage. La combinaison de drogues anesthésiantes et la posologie sont différentes selon l'espèce (Tableau 1).

Tableau 1. Combinaisons de drogues anesthésiantes par espèce

	Mouflon à manchettes	Gazelle dorcas
Thiafentanil (mg)	2,5	2
Butorphanol (mg)	2	
Azaperone (mg)	20	20
Kétamine (mg)		50

Source : Bussière (2020)

Une fois endormi (≈5 minutes après fléchage), l'individu a été équipé d'un collier GPS produit par Africa Wildlife Tracking®. Dès la pose et collecte d'ADN terminées, un antidote est injecté en intraveineuse (25 mg pour Gazelle dorcas, et 30 mg pour Mouflon à manchettes) (Bussière 2020).
Les individus ont ensuite été suivis à distance par l'équipe biodiversité de la RNCE. Plusieurs paramètres ont été enregistrés : coordonnées XY, précision GPS, vitesse de déplacement, température, date, horaire. Les positions ont automatiquement été relevées toutes les heures durant le premier mois, puis toutes les 4 heures les mois suivants afin d'économiser la batterie.

2.3. Modélisation des DV et analyse des données

Afin de modéliser les DV, deux approches ont été envisagées sous ArcView3.2® via le package Home Range®. La première méthode est celle des « Minimum convex polygon (MCP) » (Mohr 1947, in Harris et al. 1990), il s'agit d'une méthode déterministe. Et la seconde, méthode probabiliste cette fois, est la méthode « Kernel density estimation (KDE) » (Worton 1989, in Harris et al. 1990) (bandwidth method : Least-squares cross validation).
L'approche MCP, bien que très communément employée pour sa facilité d'usage, souffre de quelques carences (Bodin 2005). D'une part elle ne donne aucune information sur les densités d'utilisation du DV (Heatmap) — information pouvant néanmoins être obtenue autrement —, mais surtout, elle conduit bien souvent à une surestimation du DV en englobant des parties non explorées (Bodin 2005). Pour mieux le comprendre, imaginons un ensemble de localisations d'une espèce terrestre, situées sur 2 îles reliées entre elles par un corridor étroit et long. Modéliser son DV via la méthode MCP donnerait alors un DV de forme relativement cubique qui engloberait trop largement les abords du corridor. Or ces abords constituent le milieu aquatique, milieu non exploité et non exploitable par l'espèce étudiée. En clair, la méthode MCP serait donc incapable de cerner cet étranglement de l'espace, à contrario de la méthode KDE qui est une méthode probabiliste estimant les DV en se basant sur la répartition et la densité des localisations (30 points minimum recommandés). Malgré les avantages apparents de la méthode KDE sur la méthode MCP, cette dernière n'a néanmoins pas été exclue des analyses. Les DV ont donc été modélisés suivant les 2 méthodes. Et l'effet de la méthode sur les dimensions des DV a ensuite été évalué via le test du signe et le test de Wilcoxon signé.
Afin de modéliser ces DV, les données ont été préalablement nettoyées. Les points imprécis de plus de 30 mètres ont été retirés. Et puisque nous utilisons également une méthode probabiliste (KDE), un espacement de temps doit être appliqué entre les localisations afin qu'elles soient indépendantes, i.e. que l'animal puisse rejoindre n'importe quel endroit de son DV durant ce laps de temps. Un espacement de 8 heures entre chaque localisation conservée a donc été appliqué afin de limiter l'autocorrélation spatiale (Harris et al. 1990 ; Bodin 2005). Enfin, les localisations de comportements erratiques ont également été retirées de l'analyse. Pour identifier ces comportements erratiques, le tri s'est porté en recoupant plusieurs informations, à savoir la distance euclidienne entre le point de départ et le point d'arrivée d'un même trajet, ainsi que la sinuosité du déplacement et surtout l'absence de trajet retour. Ainsi, une distance élevée avec une trajectoire peu sinueuse et une absence de retour, laissent à penser qu'il s'agit d'un comportement erratique (Marchesi 1989).
Concernant les modélisations à proprement dites, elles ont été faites en retenant 95% des localisations déjà triées (MCP 95%, KDE 95%), autrement dit en excluant 5% des localisations. Il s'agit de localisations qui traduisent habituellement des comportements exploratoires au-delà du DV (Burt 1943), des localisations plutôt anecdotiques et isolées. Retenir 100% des localisations reviendrait à modéliser ce que l'on pourrait nommer comme le

« domaine exploré » (Le Portal 2007), et non plus le DV.

Enfin, la modélisation des DV s'est faite à l'échelle d'une année entière, ou sur l'ensemble du temps de collecte disponible si celui-ci est inférieur à une année. Dans ce dernier cas de figure, le résultat de la modélisation est discuté par la suite. Concernant l'analyse structurelle des DV en termes de surface, celle-ci a été effectuée sur Rstudio® via les packages « terra » et « sf », puis vérifiée sur Qgis2.18® (EPSG : 32634 ; SRC WGS84/UTM zone 34N). Compte tenu du trop faible nombre d'individus de chaque sexe, aucune analyse inférentielle n'a été appliquée pour savoir s'il existe une différence significative entre la taille des DV de mâles et femelles. Une brève description est néanmoins présentée.

3. Résultats

3.1. Succès de capture

La campagne de capture a permis d'équiper 5 mouflons et 5 dorcas (Tableau 2). Une sixième gazelle dorcas a été capturée mais n'a pas été équipée de balise GPS en raison d'une taille et forme de collier inadaptées (Bussière 2020). Ces colliers étant expérimentaux pour les 2 espèces, plusieurs tailles étaient disponibles pour chacune d'elles, mais donc avec des stocks limités selon l'âge et le sexe des individus.

Tableau 2. Synthèse des caractéristiques sexuelles et d'âge des individus équipés de balises GPS (Id entre parenthèse)

	Jeune mâle	Mâle adulte	Femelle adulte
Mouflon à manchettes	2 (3833 – 3834)	1 (3837)	2 (3835 – 3836)
Gazelle dorcas	2 (3850 – 3851)	3 (3849 – 3852 – 3853)	

Source : Bussière (2020)

3.2. Données récoltées

Ce sont 10 232 positions qui ont été enregistrées sur 12 mois. Après trie des données, 10 152 positions ont été conservées (Tableau 3), à raison d'environ 2000 le premier mois avec l'intervalle d'une heure, et environ 8000 les mois suivants avec intervalle de 4 heures.

Tableau 3. Synthèse du nombre de positions enregistrées (après nettoyage) par mois et par individu

	Jan-20	Fév-20	Mar-20	Avr-20	Mai-20	Juin-20	Juil-20	Août-20	Sept-20	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Jan-21	Fév-21
Dorcas 3849		341	114	101	96	90								
Dorcas 3850	23	75												
Dorcas 3851		64												
Dorcas 3852		210	82	72	12									
Dorcas 3853		225	103	80										
Mouflon 3833		289	145	163	168	168	173	163	159	166	1			
Mouflon 3834		298	142	152	160	164	178	162	148	123	134	136	54	2

Mouflon 3835		302	170	170	166	166	175	174	163	158	60	4		
Mouflon 3836		302	160	155	160	161	163	168	163	158	33			
Mouflon 3837		234	165	157	164	162	173	173	159	167	167	62		

Source : Reitz and Benellem, Données terrain (2020-2021)

Les colliers ont tous été posés à compter du 24 janvier 2020 et ont commencé à enregistrer le même jour que la pose. Alors que les colliers de mouflon ont tous émis entre 10 et 13 mois consécutifs (Tableau 4), les colliers de dorcas ont moins bien fonctionnés. Deux d'entre eux n'ont même pas enregistré 1 mois complet. Et le collier le plus performant a émis presque 5 mois. Les causes de ces dysfonctionnements restent incertaines.

Tableau 4. Nombre de jours d'enregistrement par mois et par individu

	Jan-20	Fév-20	Mar-20	Avr-20	Mai-20	Juin-20	Juil-20	Août-20	Sept-20	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Jan-21	Fév-21	Total de jours
Dorcas 3849		25	31	30	31	28									145
Dorcas 3850	6	10													16
Dorcas 3851		13													13
Dorcas 3852		16	31	30	5										82
Dorcas 3853		16	31	25											72
Mouflon 3833		25	31	30	31	30	31	31	30	31	1				271
Mouflon 3834		16	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	13	2	337
Mouflon 3835		16	31	30	31	30	31	31	30	31	17	4			282
Mouflon 3836		16	31	30	31	30	31	31	30	31	12				273
Mouflon 3837		25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	15			315

Source : Reitz and Benellem, Données terrain (2020-2021)

Compte tenu du faible nombre de jours de fonctionnement des colliers 3850 et 3851, ces individus ont été retirés des analyses suivantes.

L'ensemble des localisations (après tri des données) est représenté sur la carte ci-dessous (Figure 2). On notera à titre informatif l'absence de tout chevauchement de localisations entre individus, que ce soit intra ou interspécifique.

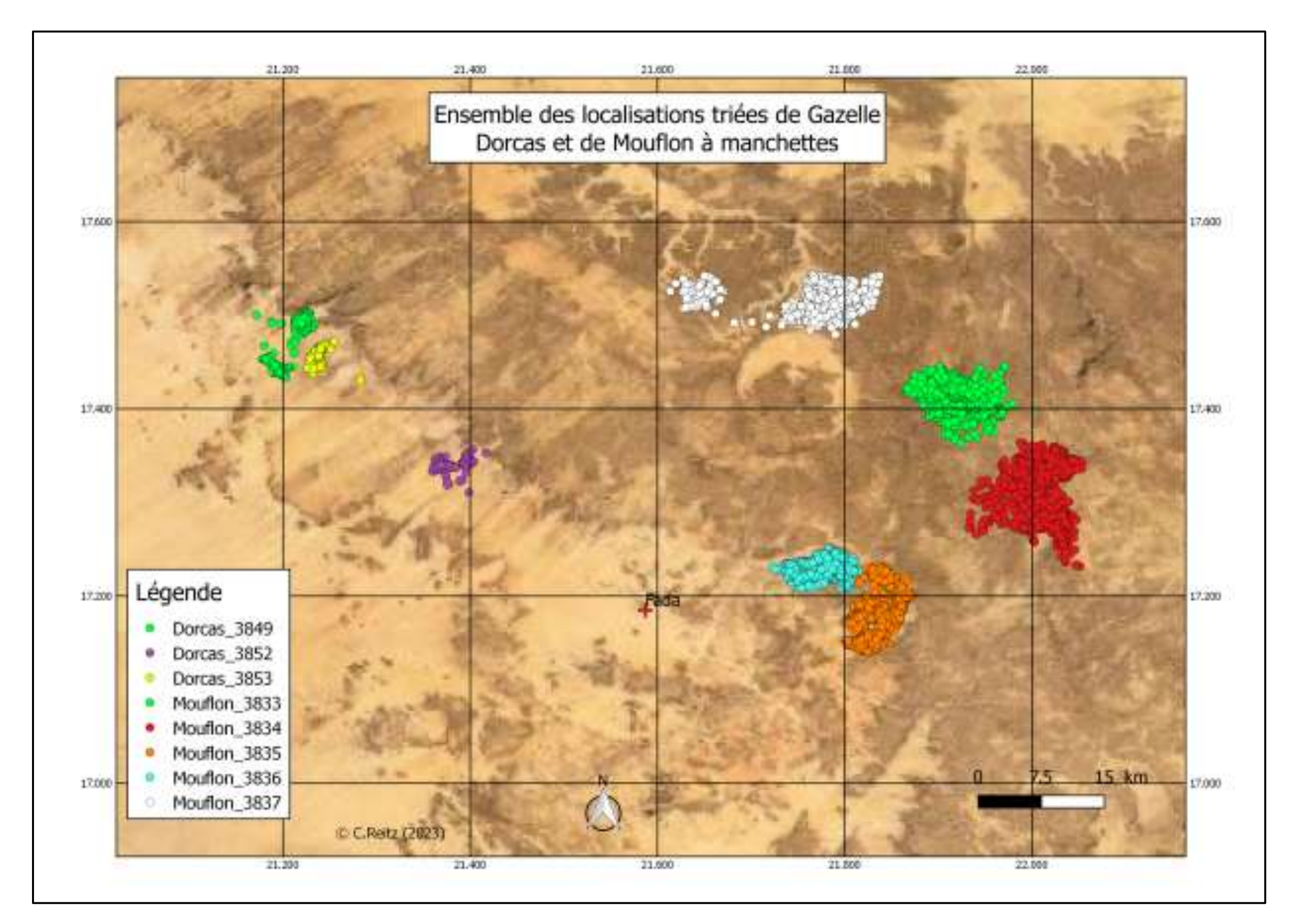


Figure 2. Ensemble des localisations enregistrées après trie des individus et des données
Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020-2021)

3.3. Modélisation des domaines vitaux

En raison des données à disposition, il n'a pas toujours été possible de dresser un DV à l'échelle d'une année entière, soit 12 mois.

3.3.1. Gazelle dorcas

Concernant la Gazelle dorcas, 2 individus ont été exclus des analyses (3850 et 3851) en raison d'un trop faible nombre de jours de fonctionnement. Les DV ont alors été construits sur une durée de 5, 4 et 3 mois pour les individus 3849, 3852 et 3853 (Figure 3, Figure 4, Figure 5).
Même si on ne peut pas réellement parler de DV pour un si court pas de temps, le DV a tout de même été modélisé, au moins à titre informatif. Mais l'utilité de la donnée est fatalement très limitée.
La surface des DV a été mesurée pour chaque individu selon les résultats produits via méthodes MCP et KDE (Tableau 5).

Tableeau 5. Surface des DV de Gazelle dorcas selon la méthode employée

Individu	Caractéristiques	MCP 95% (ha)	Kernel 95% (ha)
3849	Mâle adulte	2654	991
3852	Mâle adulte	1080	335
3853	Mâle adulte	395	339
Moyenne		1376	555
Ecart-Type (σ)		1158,29	377,59

Compte tenu du faible nombre d'individus échantillonnés, aucun test statistique paramétrique ni même non-paramétrique n'a été effectué pour comparer les surfaces obtenues selon les 2 méthodes. Mais d'un point de vue strictement descriptif, le Tableau 5 montre des surfaces nettement plus importantes selon la méthode MCP que selon la méthode KDE. Selon la méthode MCP, on observe une moyenne surfacique de 1376 hectares (σ 1158.29), contre 555 hectares (σ 377.59) pour la méthode KDE. Malheureusement aucune analyse inférentielle ne permet ici d'appuyer la significativité de cette différence.

Enfin, étant tous du même sexe et catégorie d'âge, aucune comparaison n'est à mentionner sur ce point.

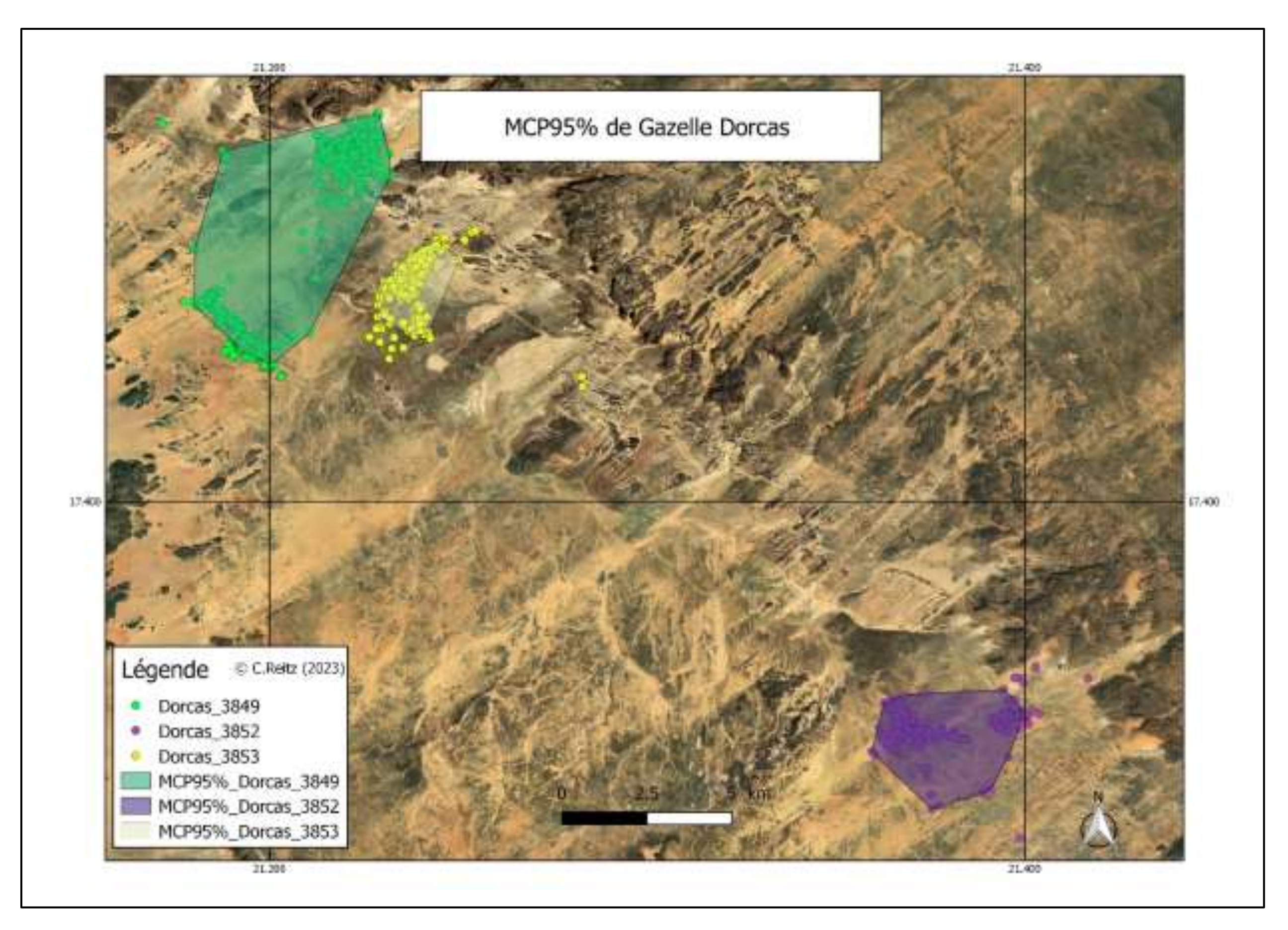


Figure 3. Domaines vitaux de Gazelle dorcas par MCP 95%

Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020)

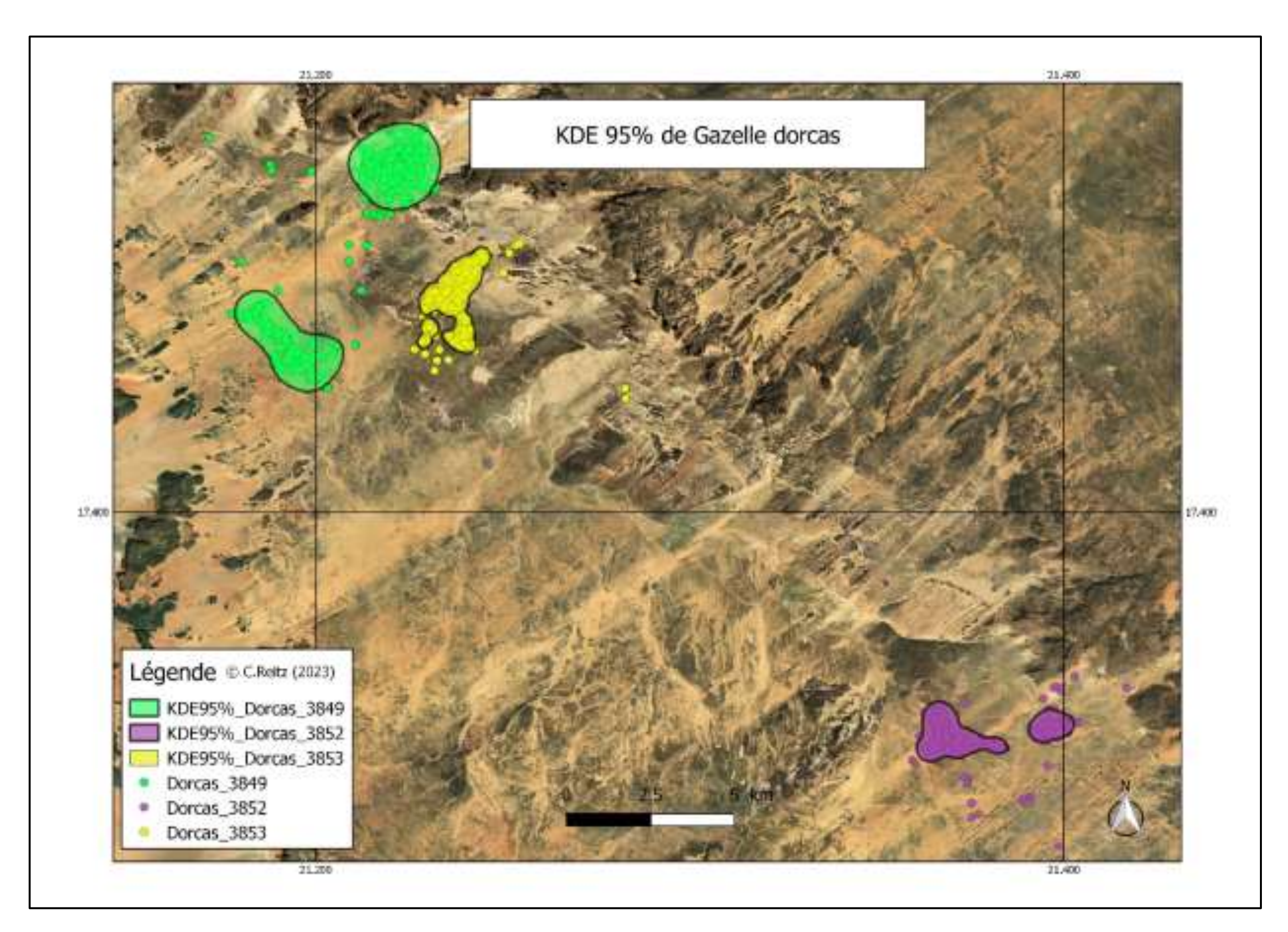


Figure 4. Domaines vitaux de Gazelle dorcas via KDE 95%
Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020)

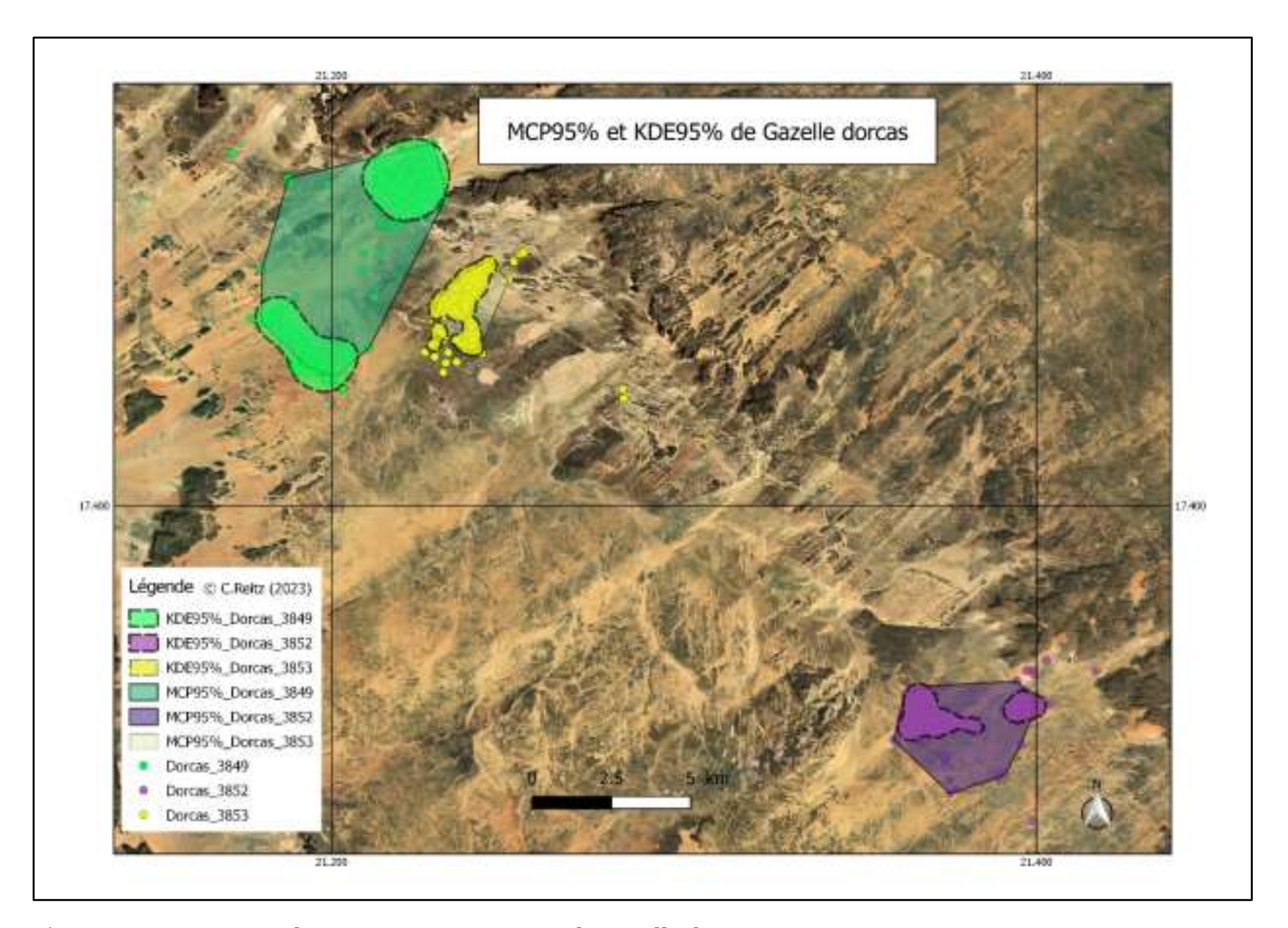


Figure 5. Superposition des MCP95% et KDE95% de Gazelle dorcas
Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020)

3.3.2. Mouflon à manchettes

Contrairement à la Gazelle dorcas, aucun individu n'a été exclu des analyses. Les DV de mouflons ont été modélisés sur une durée d'environ 10 mois pour les individus 3833 et 3836, 11 mois pour 3835 et 3837, et 12 mois pour 3834 (Figure 6, Figure 7, Figure 8). La surface des DV a été mesurée pour chaque individu (Tableau 6).

Tableau 6 : Surface des DV de Mouflon à manchettes selon la méthode employée

Individu	Caractéristique	MCP 95%(ha)	Kernel 95% (ha)
3833	Jeune mâle	6159	4634
3834	Jeune mâle	9175	7760
3835	Femelle adulte	4965	4521
3836	Femelle adulte	2428	1832
3837	Mâle adulte	11252	4663
Moyenne		6795	4682
Ecart-Type (σ)		3476,83	2099,12

- Effet de la méthode de modélisation

Compte tenu du faible nombre d'individus échantillonnés (n<6), deux tests non-paramétriques pour échantillons non indépendants ont été utilisés pour savoir s'il existe une différence significative entre les dimensions surfaciques de DV produits via MCP ou KDE, autrement dit s'il existe un effet de la méthode. D'après le test du signe réalisé sur Rstudio®, il n'y aurait pas de différence significative entre les 2 méthodes (p=0.063). Concernant le test de Wilcoxon signé, bien que le *d* de Cohen révèle un fort effet de la méthode (d=0.829), cet effet n'est toutefois pas significatif (p=0.059). La puissance de ce dernier test est néanmoins très faible (power = 0.297). Par contre d'un point de vue strictement descriptif, et comme pour la Gazelle dorcas, le Tableau 6 montre tout de même des surfaces nettement plus importantes selon la méthode MCP que selon la méthode KDE. Ainsi, on observe une moyenne surfacique de 6795 hectares (σ 3476.83) via MCP, contre 4682 hectares via KDE (σ 2099.12). Encore une fois les écarts de valeur entre individus sont importants, et là-encore la méthode KDE lisse davantage ces écarts.

- Effet sexe et classe d'âge

Le nombre d'individus suivis par sexe ou classe d'âge est trop restreint pour effectuer des analyses inférentielles. Il apparaît néanmoins que les femelles (3835 et 3836) ont toutes deux un DV inférieur aux 3 mâles, jeunes comme adultes.

Et concernant les classes d'âge, les 2 jeunes mâles présentent un DV inférieur au mâle adulte selon la méthode MCP, mais pas selon la méthode KDE où cela ne vaut que dans 1 cas sur 2.

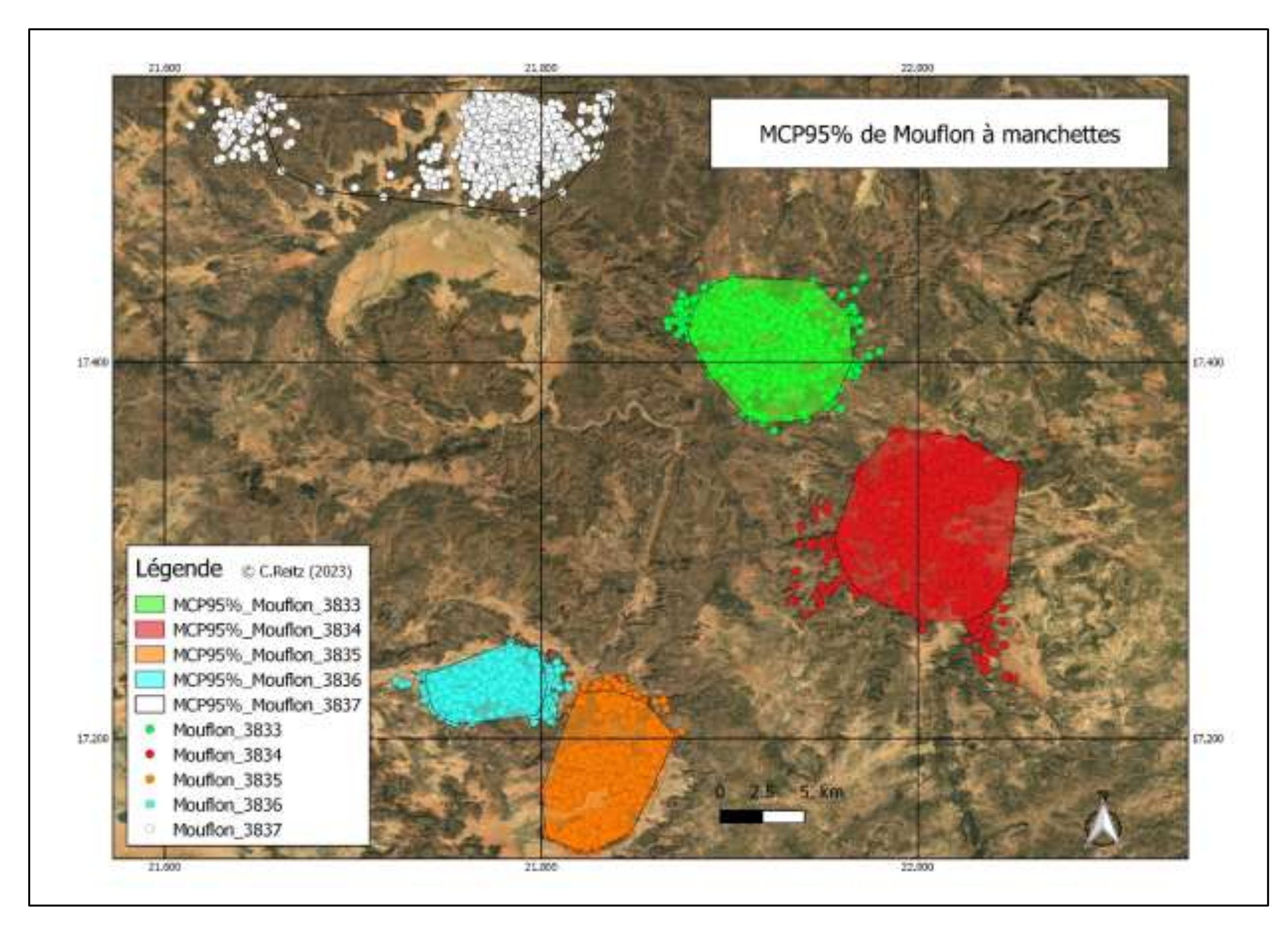


Figure 6. Domaines vitaux de Mouflon à manchettes par MCP 95%
Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020-2021)

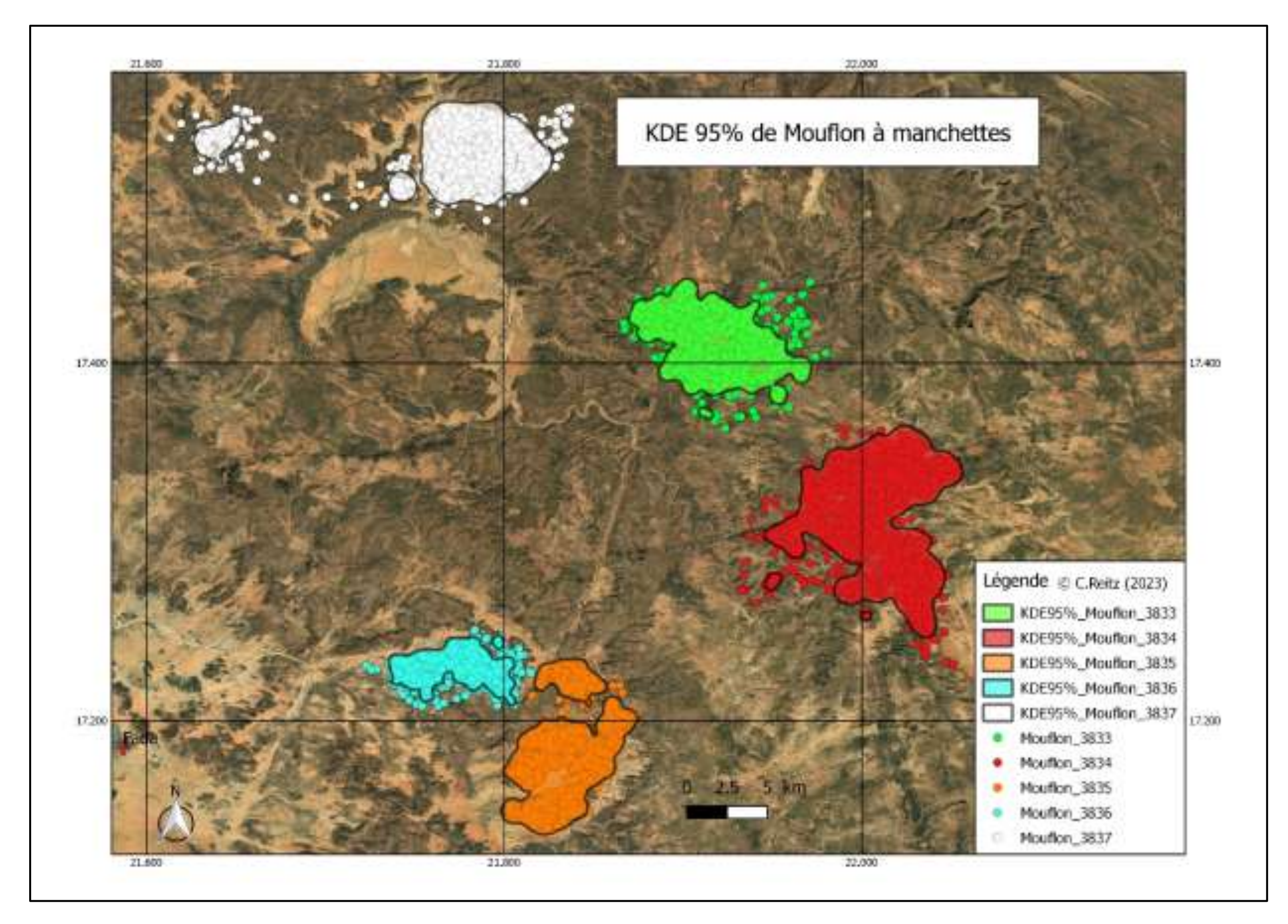


Figure 7. Domaines vitaux de Mouflon à manchettes via KDE 95%

Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020-2021)

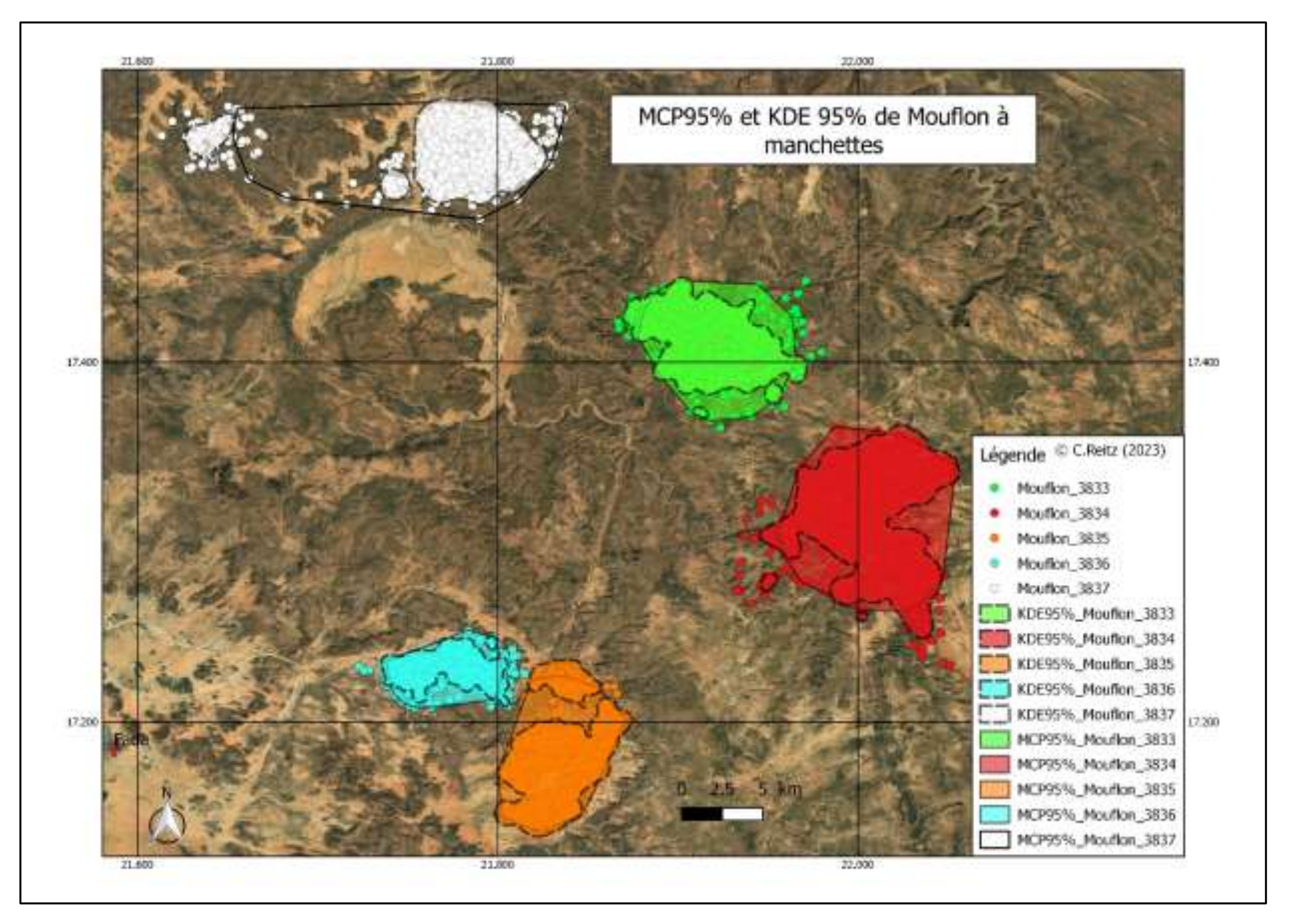


Figure 8. Superposition des MCP95% et KDE95% de Mouflon à manchettes
Source : ESRI Satellite (2023) ; Données terrain (2020-2021)

4. Discussion

Que ce soit pour la Gazelle dorcas ou le Mouflon à manchettes, les stocks de colliers étant restreints, le nombre d'individus capturés et équipés fut alors très faible, ceci limitant fatalement la représentativité des résultats. En effet, avec 5 individus suivis par espèce, cet effort d'échantillonnage ne saurait être considéré comme suffisant pour être bien représentatif des populations locales. Par ailleurs le suivi télémétrique n'a pas été équivalent entre individus. Ils n'ont pas pu être suivis sur la même durée, et pour la plupart, pas même une année entière, alors qu'idéalement les DV sont construits sur 12 mois afin d'intégrer toutes les saisons. Ceci biaise fatalement l'évaluation des DV. À quel point ? Sans doute moindre concernant les mouflons à manchettes puisqu'ils ont été suivis presque une année entière. Par contre pour les gazelles dorcas, suivies seulement quelques mois (5 au meilleur des cas), l'impact est forcément conséquent. Il n'est alors pas possible dans ce cas de considérer ces DV comme des DV annuels. Ils n'ont été modélisés qu'à titre informatif.

Malgré ces dernières remarques, quelle que soit l'espèce en question, et quelle que soit la méthode de modélisation, les surfaces de DV sont bien plus importantes dans l'Ennedi qu'en d'autres zones d'étude du globe.

Pour le Mouflon à manchettes, alors que la moyenne est de 4682ha dans l'Ennedi suivant la méthode KDE, les études de Cassinello (2002) révélaient quant à elles un DV maximum de seulement 3300ha, et moitié moins pour les femelles. Et pour les populations américaines, les DV ont été estimés entre 259 et 3367ha (Dickinson and

Simpson, 1981, in Sprem et al. 2020). Par ailleurs le Mouflon à manchettes étant connu pour adopter une ségrégation sexuelle en dehors du rut (Cassinello 2013), il était intéressant d'étudier la différence intersexuelle des DV dans l'Ennedi. Malheureusement trop peu d'individus ont été suivis pour aboutir à des conclusions. Et la même contrainte s'est posée pour étudier les différences entre classes d'âge.

Concernant la Gazelle dorcas, très peu de documentation s'avère disponible. La seule information retrouvée concerne des individus réintroduits au Sénégal en enclos de 640ha et suivis sans système de télémétrie, i.e. simplement par observations ponctuelles, ce qui limite très fortement la pertinence des modélisations de DV. D'ailleurs cette étude ne précise pas la méthode de modélisation des DV. Ceci étant, les DV de ces individus réintroduits ont été estimés à 68ha maximum (Abaigar et al. 2015), soit 8 fois moins que la moyenne des DV de Gazelle dorcas de l'Ennedi selon la méthode KDE (555ha) et calculés sur 3 à 5 mois.

Pour expliquer ces tailles de DV nettement supérieures à celles retrouvées en d'autres régions, plusieurs hypothèses sont envisagées.

La première étant une productivité primaire peut-être moindre dans l'Ennedi en comparaison des autres régions, ceci obligeant à davantage de déplacements pour pourvoir aux besoins alimentaires. Une prochaine analyse NDVI (normalized difference vegetation index) viendra étayer cette hypothèse.

Autre supposition, la compétition avec le bétail, ceci réduisant plus encore la disponibilité en fourrage. En effet, la RNCE accueillerait plus de 40 000 habitants, et plus de 140 000 têtes de bétail selon l'inventaire aérien de 2019 (Wacher 2019). Et ces chiffres semblent par ailleurs à la hausse d'après les divers comptages et enquêtes menées en 2022 (Reitz 2023 ; Handley 2022). Le développement de puits et forages pastoraux contribuent sans doute à cette hausse.

Dernière hypothèse, liée aux deux premières, une qualité du pâturage moindre. Puisque la pression exercée par le bétail conduit sans doute à un surpâturage impactant la diversité floristique et conséquemment la qualité nutritionnelle du fourrage, ceci pourrait contraindre les consommateurs primaires à une expansion du DV par supplémentation (Dunning et al. 1992). Une étude botanique en exclos est d'ailleurs en cours pour étudier l'impact du bétail sur la végétation.

Concernant la comparaison des dimensions de DV obtenus selon les 2 méthodes, bien que le test du signe et le test de Wilcoxon signé, effectués pour le Mouflon à manchettes, ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle, il n'en demeure pas moins que les tests n'étaient pas assez puissants ($power<0.3$) pour déceler un quelconque effet de la méthode. Cela explique le non-rejet de l'hypothèse nulle ($p>0.05$) au risque qu'un effet existe bel-et-bien. Un plus grand nombre d'individus ($n=14$) s'avère nécessaire pour apporter robustesse à ces analyses ($power \geq 0.80$).

Malgré l'absence de conclusion via les analyses inférentielles, d'un point de vue strictement descriptif, il apparaît tout de même clairement que les DV modélisés via MCP surévaluent les DV par rapport à la méthode KDE. On peut notamment observer sur la Figure 3 et Figure 6 que les MCP englobent de grandes portions paysagèrent inexplorées par les individus focaux. Ceci est particulièrement marquant pour la dorcas 3849 et le mouflon 3837. Si l'on considère précisément ce dernier, on constate un déplacement d'est en ouest en novembre 2020 (début de saison froide), soit 50 à 100m d'altitude plus bas, ceci pouvant s'apparenter à un changement saisonnier d'occupation spatiale, chose dont l'espèce serait coutumière (Hampy 1978 ; Prpić et al. 2020 ; Sprem et al. 2020). De fait, le MCP modélisé englobe une grande surface non exploitée et omet même une portion de ce qui pourrait être partie intégrante du DV. À contrario, la méthode KDE ne semble pas conserver les couloirs de circulation joignant 2 patchs de DV (Figure 4, Figure 7). Ces cas restent assez délicats à étudier dans le sens où l'on peut se

demander si ces individus en question sont bel-et-bien installés ou erratiques. Les 2 méthodes présentent donc leurs avantages et inconvénients, mais la méthode KDE semble mieux adaptée malgré l'absence de conclusion robuste issue des analyses inférentielles.

Pour en revenir à cette notion de changement saisonnier dans l'occupation spatiale, bien qu'il puisse être intéressant d'étudier la stabilité des DV au cours des saisons au travers d'une analyse des recouvrements de DV via l'indice de Sorensen (Dekker et al. 2001 ; Mergey 2009), le choix a néanmoins été de ne modéliser les DV qu'à l'échelle d'une année entière (ou moins si la collecte des données fut inférieure à cette durée). En effet, bien que des données météorologiques soient disponibles sur la plateforme « https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ », la part d'arbitraire reste très importante pour procéder à un découpage saisonnier des données télémétriques. Et d'autres biais vont en ce sens, rendant alors délicat voire peu pertinent tout découpage manichéen. Initialement était également prévu d'étudier l'occupation du sol des DV produits, mais finalement aucune étude n'a été réalisée ici en raison d'une résolution cartographique insuffisamment précise des habitats de la RNCE. Sur la carte actuellement disponible, 1 pixel équivaut à 90 mètres sur 90 mètres, résolution bien trop imprécise pour assurer la validité des résultats. L'amélioration de cette carte est un prérequis avant toute future analyse de sélectivité des habitats ou réalisation de carte d'habitabilité via Maxent®. À ce titre d'ailleurs, plusieurs variables semblent intéressantes pour modéliser cette carte d'habitabilité : l'occupation du sol, le relief (MNT), la distance aux villages, la distance aux points d'eau naturels (temporaires comme permanents) et la distance aux puits/forages. Ces distances peuvent d'ailleurs prendre 2 formes, soit des distances euclidiennes soit des distances écologiques, i.e. « distance de coûts ». Cette seconde forme nécessitera d'attribuer des coûts de déplacement à chaque habitat et pour chaque espèce afin de générer une matrice de résistance à l'avancement. L'attribution de valeurs de coûts à l'avancement pourra s'appuyer sur une analyse de la sélectivité des habitats. Pour effectuer cette analyse et mettre en lumière l'utilisation préférentielle de certains milieux pour se déplacer, l'analyse doit porter sur les points de localisation et non sur les ratios de surface d'habitat dans le DV.

Sachant que les habitats ne couvrent pas la même superficie, il est important de considérer le nombre de localisations proportionnellement à la surface de l'habitat en question dans l'espace disponible. Pour déterminer cette surface disponible, un tampon doit être créé pour chaque individu autour de chaque point. Ce tampon est d'une distance égale à la distance maximale entre 2 localisations, ce qui rend compte de l'espace qu'un individu est capable d'atteindre et permet alors de distinguer si un type d'habitat est absent du domaine exploré en raison d'une contre-sélection, ou s'il est simplement hors d'atteinte.

Ensuite, souhaitant savoir si la répartition dans l'espace est homogène ou non, autrement dit si elle est moins liée à de l'attrait pour un habitat qu'à sa surface disponible, un test de Chi² de conformité (ou test exact de Fisher en cas d'effectifs théoriques inférieurs à 5) doit être effectué pour chaque individu afin de comparer le nombre de localisations observées aux proportions théoriques dans les surfaces disponibles en posant H0 comme l'absence de différence entre les proportions observées et celles attendues, autrement dit qu'il n'y a pas de sélectivité des habitats et que l'utilisation de l'espace se fait donc de façon homogène (Bouché 2008). Puis ce même test sera réalisé non plus pour chaque individu mais sur leur ensemble à partir de la moyenne du nombre de localisations observées et de la moyenne des proportions théoriques. Si H0 est rejetée au seuil de significativité de 5%, l'indice de sélectivité de Jacobs (Jacobs 1974, in Kauhala and Auttila 2010) sera alors calculé pour chaque individu et pour chaque habitat. Les valeurs de cet indice sont comprises entre -1 et +1. La première représentant une préférence minimale, et la seconde une préférence maximale. Il se calcule de la manière suivante : **D = (r - p) / (r + p - 2rp)**

où r est la proportion de localisations dans un habitat donné, et p la proportion de la surface de cet habitat dans l'ensemble de la surface disponible.
Enfin, à partir des indices obtenus pour chaque individu, un test de Kruskal-Wallis additionné d'une analyse post-hoc via Wilcoxon sera réalisé afin d'identifier les valeurs qui auront contribué à la significativité de cette sélectivité, i.e. connaître les groupes qui sont particulièrement différents les uns des autres.

5. Conclusion

Le suivi télémétrique de 5 gazelles dorcas et 5 mouflons à manchettes a permis de suivre ces individus durant plusieurs mois. Malheureusement le suivi de Gazelle dorcas a duré trop peu de temps (<5 mois) pour tirer des conclusions robustes sur son utilisation de l'espace.
Les DV ont été modélisés selon 2 méthodes en retenant 95% des localisations. La méthode KDE est d'ailleurs apparue mieux adaptée que la méthode des MCP. De façon strictement descriptive, cette dernière semble surestimer les DV en incluant des surfaces non exploitées par les individus focaux. Le test de Wilcoxon signé n'a néanmoins révélé aucune différence significative entre les 2 méthodes, mais la robustesse du test est trop faible pour se fier uniquement à sa p-value.
À titre informatif, les quelques mois de suivi des 3 dorcas conservées dans les analyses ont permis de modéliser un DV d'une surface moyenne de 555ha (σ377) via KDE, mais calculés respectivement sur des pas de temps différents. Pour le Mouflon à manchettes, tous suivis au moins 10 mois, la surface moyenne des DV avoisine les 4682ha (σ2099) via KDE, soit une surface bien plus importante que celles retrouvées en d'autres zones d'étude. Sans doute la disponibilité en fourrage et/ou sa qualité en sont causes.
Malheureusement la résolution trop large de la cartographie actuelle de l'occupation du sol de la RNCE n'a pas permis d'étudier plus encore les patterns spatiaux des 2 espèces, notamment en termes de sélectivité des habitats. Ceci explique aussi pourquoi aucune carte de chaleur des localisations n'a été présentée ici conjointement aux DV puisque la pertinence de l'analyse d'une telle carte est dépendante de la précision de l'occupation du sol. L'amélioration de cette cartographie est donc un prérequis pour étoffer cette étude et d'autres à venir notamment concernant les autruches à cou rouge (*Struthio camelus camelus*) réintroduites depuis 2021 par APN. De même la récente pose de 10 stations météo au sein de la RNCE permettra un découpage moins arbitraire des saisons et d'étudier alors également la saisonnalité de l'occupation de l'espace avec plus de précision.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier à l'équipe ayant initié ce projet, tout particulièrement Elsa Bussière et la direction de la RNCE. Nous tenons également à remercier le docteur vétérinaire Charlotte Moueix ainsi que l'ensemble du personnel de terrain ayant permis la réalisation de cette opération, à savoir les pilotes et observateurs de terrain.

Références

Abaigar T, Cano M, Djigo CAT, Gomis J, Sarr T, Youm B, Fernandez-Bellon H, Ensenyat C (2016) Social organization and demography of reintroduced Dorcas gazelle (*Gazelle dorcas neglecta*) in North Ferlo Fauna Reserve, Senegal. Mammalia, 80 (6):593-600.

Bodin C (2005) Partage de l'espace et relation de voisinage dans une population continentale de blaireaux européens (*Meles meles*). PhD Thesis, Université Montpellier II, 138p.

Bouché P (2008) Méthodes d'inventaire de la grande faune à l'usage des ZCV. Ecofac, 164p.

Burt WH (1943) Territoriality and home range concepts as applied to mammals. Journal of Mammalogy, 24 (3): 346–352.

Bussière E (2020) Collaring Operation of Aoudads and Dorcas gazelles in Ennedi Natural and Cultural Reserve. African Parks Network, 32p.

Cassinello J (2002) Arrui – Ammotragus lervia. In: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Cassinello J. (eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 11p.

Cassinello J (2013) Ammotragus lervia. In: Kingdon JS, Hoffmann M (eds.). The Mammals of Africa. Vol VI. Pigs, Hippopotamuses, Chevrotain, Giraffes, Deer and Bovids, pp: 595-599. Bloomsbury Publishing, London, UK.

Dekker JJA, Stein A, Heitkonig I (2001) A spatial analysis of a population of red fox (Vulpes vulpes) in the Dutch coastal dune area. Journal of Zoology (London), 255 (4): 505-510.

Dunning JB, Danielson BJ, Pulliam HR (1992) Ecological processes that affect populations in complex landscapes. Oikos 65 (1): 169-175.

Hampy DB (1978) Home range and seasonal movement of Barbary sheep in the Palo Duro Canyon. Unpubl. M.S. thesis, Texas Tech University, Lubbocok, 83p.

Handley C (2022) Environmental anthropology ENCR report. African Parks Network, 106p.

Janin A (2011) Évaluer la connectivité en paysage fragmenté : de l'écologie comportementale à la biologie de la conservation. Sciences agricoles. Université Claude Bernard –Lyon I, 196p.

Kauhala K, Autilla M (2010) Estimating habitat selection of badgers - a test between different methods. Folia zoologica, 59 (1): 16-25.

Le Portal Y (2007) Analyse du comportement spatial des ours bruns (*Ursus arctos arctos*) réintroduits dans les Pyrénées. Mémoire de Master, Université Paul Sabatier Toulouse III, 41p.

Marchesi P (1989) Écologie et comportement de la Martre dans le Jura Suisse. PhD Thesis, Université de Neuchâtel, 190p.

Mbayngone E (2023) Évaluation des ressources fourragères pour les herbivores sauvages dans la Réserve Naturelle et Culturelle de l'Ennedi (RNCE). African Parks Network, 44p.

Mergey M (2009) Réponses des populations de Martres d'Europe (*Martes martes*) à la fragmentation de l'habitat : mécanismes comportementaux et conséquences. PhD Thesis, Université de Reims, 211p.

Pellerin M (2005) Utilisation et sélection de l'habitat chez le chevreuil à différentes échelles spatio-temporelles. PhD Thesis, Université de Poitiers, 290p.

Pereboom V (2006) Mode d'utilisation du milieu fragmenté par une espèce forestière aux habitudes discrètes, la Martre des pins Martes martes. PhD Thesis, Université d'Angers, 75p.

Prpić AM, Gančević P, Safner T, Kavcic K, Šprem N (2020) Activity patterns of aoudad (*Ammotragus lervia*) in a Mediterranean habitat. Journal of vertebrate Biology 69(4), 20055.1-8.

Reitz C (2023) Inventaire aérien de la faune sauvage et domestique de la RNCE (2022). African Parks Network, 73p.

Šprem N, Gančević P, Safner T, Jerina K, Cassinello J (2020) Barbary Sheep *Ammotragus lervia* (Pallas, 1777). In: Hackländer K, Zachos FE (eds) Handbook of the Mammals of Europe. Springer, Cham.

Wacher T (2019) Aerial survey of the Ennedi Massif. African Parks Network, 48p.